

PENGARUH KONSENTRASI POLIETILEN GLIKOL (PEG) TERHADAP KARAKTERISTIK NANOFLUIDA AIR-ALUMINA

Pipih Nurhidayati^{1*}, Dani Gustaman Syarif² dan Hasniah Aliah¹

¹Jurusan Fisika, UIN Sunan Gunung Djati Bandung

Jl. A.H. Nasution No. 105, Bandung 40614

²Pusat Sains dan Teknologi Nuklir Terapan (PSTNT) - BATAN

Jl. Tamansari 71, Bandung 40132

*E-mail: pipihnurhidayati@gmail.com

Diterima: 11 September 2015 Diperbaiki: 24 November 2015 Disetujui: 16 Desember 2015

ABSTRAK

PENGARUH KONSENTRASI POLIETILEN GLIKOL (PEG) TERHADAP KARAKTERISTIK NANOFLUIDA AIR-ALUMINA. Telah dilakukan penelitian pengaruh Polietilen Glikol (PEG) terhadap transfer panas pada nanofluida air alumina (Air- Al_2O_3). Sintesis nanofluida dilakukan dengan mendispersikan nanopartikel alumina (Al_2O_3) ke dalam fluida konvensional air (H_2O). Pada penelitian ini dikaji pengaruh penambahan PEG terhadap karakteristik nanofluida air- Al_2O_3 . Karakterisasi nanofluida yang dilakukan adalah pengukuran zeta potensial, viskositas, konduktivitas termal, dan *Critical Heat Flux* (CHF). Serbuk Al_2O_3 untuk nanofluida dianalisis menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) dan *X-Ray Diffractometer* (XRD), luas permukaannya diukur dengan alat *surface area* meter dengan menggunakan metode Brunauer-Emmett-Teller (BET). Penambahan Al_2O_3 sebesar 1 gram dapat meningkatkan konduktivitas termal sebesar 6% dan peningkatan CHF sebesar 149% dibandingkan dengan konduktivitas termal dan CHF air. Nilai optimum konsentrasi PEG adalah 0,3%. Penambahan PEG 0,3% dapat meningkatkan konduktivitas termal sebesar 7,6% dan CHF sebesar 232% dibandingkan dengan konduktivitas termal and CHF air.

Kata kunci: Nanofluida, Alumina (Al_2O_3), CHF, PEG, Konduktivitas termal

ABSTRACT

THE INFLUENCE OF POLYETHYLENE GLICOL (PEG) ON CHARACTERISTICS OF WATER-ALUMINA NANOFLUIDS. A research on heat transfer of water-alumina nanofluids has been carried out. Synthesis of the nanofluids was done by dispersing alumina nanoparticles into a conventional fluid i.e. water. In this work the effect of PEG addition on the water-alumina nanofluids was studied. Characterization of the nanofluids were measurement of zeta potential, viscosity, thermal conductivity, and critical heat flux (CHF). The powder for the nanofluids was analyzed by means of SEM and XRD. Its specific surface area was measured using a surface area meter based on BET method. The addition of 1 gr alumina increased thermal conductivity about 6% and the CHF about 149% compared with those of water. The optimum concentration of PEG is 0.3%. The addition of 0.3% PEG increased the thermal conductivity about 7.6% and CHF about 232% compared with those of water.

Keywords: Nanofluids, Alumina (Al_2O_3), CHF, PEG, Thermal conductivity

PENDAHULUAN

Nanoteknologi dalam dunia riset semakin lama semakin berkembang pesat. Material dalam skala nano memiliki sifat yang unggul dibandingkan dengan material umumnya yang bukan dalam skala nano. Dalam bidang perpindahan panas

yang berkaitan dengan nanoteknologi, telah dikembangkan fluida dengan memanfaatkan material berskala nano yang disebut dengan nanofluida, yang dimanfaatkan sebagai fluida pendingin [1-6].

Pada umumnya fluida pendingin seperti air, oli dan etilen glikol memiliki konduktivitas termal yang rendah. Saat ini untuk berbagai aplikasi, dibutuhkan fluida pendingin dengan konduktivitas termal yang lebih tinggi (lebih besar dari konduktivitas termal fluida konvensional). Untuk air lebih besar dari 0,6 W/m.K pada suhu 20°C. Nanofluida diharapkan dapat memenuhi kebutuhan itu. Nanopartikel yang digunakan dapat berupa partikel logam seperti Cu, Al, Fe, Au, Ag dan partikel non-logam seperti Al_2O_3 , CuO, Fe_3O_4 , TiO_2 , SiC, CNT. Fluida pendingin diperlukan pada kendaraan bermotor agar mesin mencapai kondisi optimal. Untuk komponen elektronika pendingin dibutuhkan agar komponen tidak mengalami *over heating* yang dapat mengakibatkan kerusakan. Aplikasi lainnya yang memerlukan fluida dengan fluks panas kritis atau *critical heat flux (CHF)* tinggi adalah *Reactor Vessel Cooling System (RVCS)* pada reaktor nuklir dan proses perlakuan panas logam.

Penambahan material berskala nano di dalam fluida diharapkan dapat meningkatkan kemampuan fluida dalam memindahkan panas. Sebuah penelitian mengenai nanofluida dengan menggunakan nanopartikel ZrO_2 yang berukuran 14 nm yang dilakukan oleh D. G. Syarif pada tahun 2012 [6] memperlihatkan bahwa nanofluida dapat meningkatkan nilai konduktivitas termal sebesar 5%.

Hingga saat ini masalah yang masih ada pada nanofluida ialah kestabilannya [3,7]. Di dalam nanofluida yang tidak stabil mudah terjadi pengendapan karena nanopartikel cenderung membentuk klaster (agregat) karena saling berinteraksi. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian untuk memperoleh nanofluida yang stabil. Artinya nanopartikelnya tidak mengendap dalam kurun waktu yang lama. Nanofluida yang stabil dapat memiliki karakteristik perpindahan panas khususnya konduktivitas termal dan *CHF* yang baik.

Dua cara dapat digunakan untuk membuat nanofluida yang lebih stabil yaitu dengan mengatur pH (*electrostatic stabilization*) dan menambahkan dispersan atau surfaktan (*steric stabilization*) [8]. Pada penelitian ini dilakukan penambahan material organik poli etilen glikol 4000 (*PEG4000*) sebagai dispersan ke dalam nanofluida Al_2O_3 - H_2O untuk memperoleh nanofluida yang stabil. Penggunaan *PEG* sebagai dispersan telah dilakukan pula oleh Fedele dkk. [9], tetapi nanopartikel yang digunakan adalah TiO_2 . Penggunaan dispersan *PEG* juga dilakukan oleh Nabiyouni dkk. [10] dan Vasilache dkk. [11] untuk nanopartikel ZnO. Penambahan *PEG* ke dalam nanofluida dapat mempengaruhi karakteristik nanofluida seperti viskositas, massa jenis, dan konduktivitas termal serta *CHF*. Kestabilan nanofluida yang diberi dispersan akan dipengaruhi oleh konsentrasi dispersannya. Pada penelitian ini pengaruh *PEG* dengan konsentrasi kecil (0,3-0,5%) terhadap karakteristik nanofluida air-alumina dipelajari. Pemilihan konsentrasi sebesar ini didasarkan pada studi awal menggunakan konsentrasi *PEG* lebih besar dari 1%. Dari

studi tersebut diketahui semua nanofluida yang diberi *PEG* mempunyai kestabilan yang lebih rendah dibandingkan dengan nanofluida tanpa *PEG*.

METODE PERCOBAAN

Bahan dan alat

Bahan yang digunakan adalah *aquadest*, serbuk Al_2O_3 nanopartikel komersial dari Buehler dengan ukuran partikel rata-rata 50 nm, dan *PEG 4000* (p.a. E-merck). Sedangkan alat yang digunakan adalah penggetar ultrasonik merk Branson untuk mengaduk nanofluida, timbangan analitis *Mettler Toledo* untuk menimbang bahan, alat ukur konduktivitas termal KD-PRO untuk mengukur konduktivitas termal, kamera digital yang dilengkapi video untuk merekam data arus dan tegangan selama pengukuran *CHF*, multimeter digital untuk mengukur arus dan tegangan listrik selama pengukuran *CHF*, *power supply* AC sebagai sumber tegangan bolak balik, alat ukur potensial zeta Zeta sizer dari Malvern untuk mengukur potensial zeta, *XRD* untuk mengetahui struktur kristal serbuk Al_2O_3 , *SEM* untuk mengetahui morfologi serbuk Al_2O_3 , dan *Surface Area Meter* dari *Quantachrome* untuk mengetahui luas permukaan jenis serbuk Al_2O_3 .

Cara Kerja

Pembuatan Nanofluida

Kedalam botol kaca berisi 100 mL air ditambahkan serbuk Al_2O_3 dan *PEG*, kemudian diultrasonik dengan *ultrasonic bath* selama 2 jam hingga terbentuk suspensi yang homogen. Konsentrasi *PEG* divariasi sebesar 0; 0,3; dan 0,5 %. Serbuk Al_2O_3 yang digunakan dikarakterisasi menggunakan *SEM*, *XRD*, dan *Surface Area Meter* metode *BET*.

Pengamatan Stabilitas Nanofluida

Nanofluida yang telah digetarkan dalam *ultrasonic bath* diamati dari hari ke hari selama 30 hari dengan menggunakan kamera digital.

Karakterisasi Nanofluida

Pengukuran viskositas

Pengukuran viskositas dilakukan untuk mengetahui kekentalan nanofluida menggunakan viskometer tipe getaran dari *A and D company* dengan kemampuan pengukuran 0,3 -10.000 mPa.s pada suhu 25 °C hingga 40 °C.

Pengukuran potensial zeta

Pengukuran potensial zeta dilakukan untuk mengetahui kestabilan nanofluida menggunakan alat *zetasizer* buatan Malvern pada suhu 25 °C. Apabila harga

potensial zeta ≤ -25 mV atau ≥ 25 mV, maka nanofluida dikatakan stabil.

Pengukuran konduktivitas termal

Pengukuran konduktivitas termal dilakukan untuk mengetahui pengaruh PEG terhadap konduktivitas termal nanofluida menggunakan alat ukur KD2 Pro buatan Decagon.

Pengukuran CHF

Pengukuran dilakukan dengan memberikan tegangan kepada sebuah kawat Cu kecil berdiameter 0,2 mm yang direndam di dalam air dann nanofluida hingga putus pada saat media tersebut mendidih [12]. CHF dihitung menggunakan persamaan (1) [12].

$$q'' = \frac{VxI}{\pi DL} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana:

$$q'' = CHF$$

V = Tegangan yang diberikan

I = Arus saat kawat putus

D = Diameter kawat

L = Panjang kawat

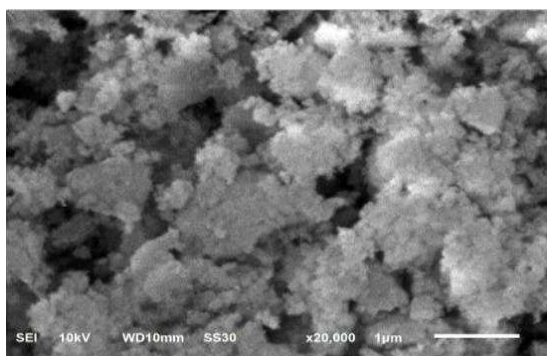
Scanning Electron Microscopy(SEM)

Serbuk Al_2O_3 nanopartikel diperiksa menggunakan SEM untuk mengetahui morfologi dan ukuran partikelnya.

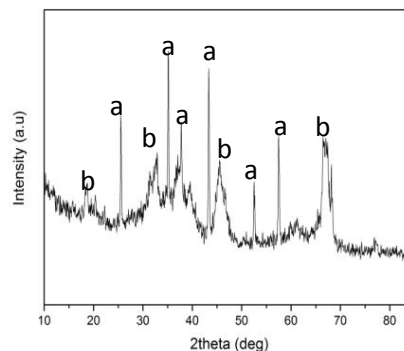
HASIL DAN PEMBAHASAN

Nanopartikel Al_2O_3

Gambar 1 adalah foto partikel Al_2O_3 yang dipotret dengan SEM. Dapat dilihat bahwa partikel-partikel serbuk membentuk aglomer yang terdiri atas partikel berukuran nanometer. Sementara itu luas permukaan jenis serbuk Al_2O_3 nanopartikel adalah $105 \text{ m}^2/\text{g}$, diukur menggunakan *Surface Area Meter*. Pola difraksi Al_2O_3 nanopartikel yang digunakan diperlihatkan pada Gambar 2. Terlihat serbuk Al_2O_3 terdiri atas dua fase yaitu alfa (a) dan gamma (b).



Gambar 1. Foto partikel Al_2O_3 dipotret menggunakan SEM

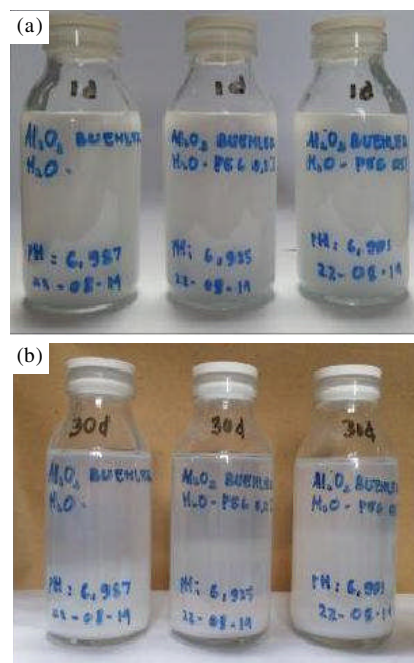


Gambar 2. Kurva hasil karakterisasi partikel Al_2O_3 dengan difraksi sinar-X. (a) fase alfa dan (b) fase beta

Pengamatan Nanofluida

Proses pengamatan stabilitas nanofluida dilakukan selama 30 hari di mana perubahan sedimentasi ditunjukkan dari perubahan terjadinya endapan yang terjadi. Gambar 3 menunjukkan nanofluida pada hari pertama (kode 1d) dan hari ke-30 (kode 30d).

Terlihat perbedaan kondisi masing-masing sampel pada hari ke-30 di mana sampel nanofluida tanpa PEG mengalami pengendapan yang lebih besar dibandingkan dengan nanofluida dengan penambahan PEG. Pengendapan nanofluida dengan penambahan 0,5 % PEG terlihat lebih banyak dibandingkan dengan nanofluida dengan penambahan 0,3 % PEG.

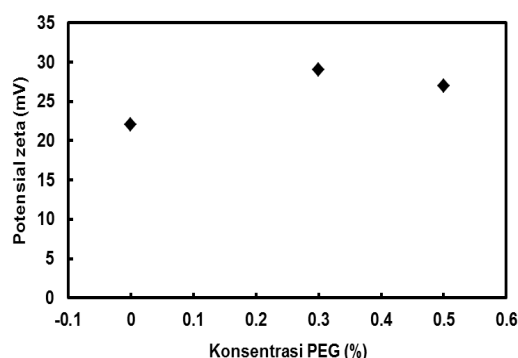


Gambar 3. Nanofluida Al_2O_3 - H_2O -PEG (a). pada hari ke-1 dan (b). setelah 30 hari

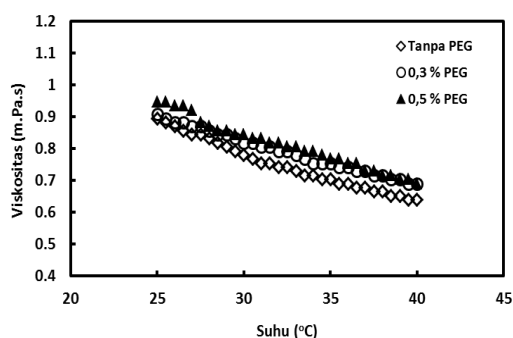
Karakterisasi Nanofluida

Hasil pengujian pada Gambar 4 menunjukkan bahwa nanofluida air- Al_2O_3 memiliki nilai zeta potensial 22 mV dan nanofluida air- Al_2O_3 -PEG memiliki nilai

potensial zeta 27 (0,5% PEG) dan 29 mV (0,3% PEG). Data ini memperlihatkan bahwa PEG dapat meningkatkan nilai potensial zeta, yang berarti menambah kestabilan nanofluida. Molekul PEG yang menempel di permukaan partikel Al_2O_3 memperbesar gaya tolak antar partikel sehingga memperbesar potensial zeta. Pada keadaan ini partikel lebih terdispersi dengan baik sehingga mengurangi pengendapan. Penambahan PEG dengan konsentrasi yang ditingkatkan menurunkan kembali nilai potensial zeta. Lapisan PEG pada permukaan nanopartikel membuat nanofluida lebih stabil. Namun jika lapisan terlalu tebal kestabilan berkurang.



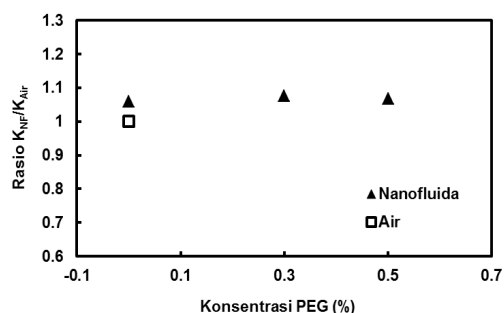
Gambar 4. Data potensial zeta pada suhu ruang.



Gambar 5. Kurva viskositas sampel nanofluida $\text{H}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3$ -PEG.

Peningkatan suhu dari 25 °C ke 40 °C menurunkan kekentalan (viskositas) nanofluida seperti ditunjukkan pada Gambar 5. Terlihat juga bahwa penambahan PEG menambah kekentalan nanofluida. Turunnya viskositas disebabkan oleh mengecilnya gaya intermolekul karena kenaikan suhu. Sementara penambahan PEG menambah gaya intermolekul.

Gambar 6 memperlihatkan data rasio perbandingan konduktivitas termal nanofluida dan air. K_{NF} adalah konduktivitas termal nanofluida dan K_{Air} adalah konduktivitas termal air. Seperti dapat dilihat pada Gambar 6, peningkatan nilai konduktivitas nanofluida air- Al_2O_3 tanpa PEG adalah 1,058 yang berarti konduktivitas termalnya meningkat sebesar 5,8%. Konduktivitas termal nanofluida air- Al_2O_3 dengan penambahan PEG sebanyak 0,3% mengalami peningkatan sebanyak 7,6% dibandingkan dengan air.



Gambar 6. Konduktivitas panas nanofluida pada suhu ruang.

Sementara itu konduktivitas termal nanofluida dengan penambahan PEG sebesar 0,5% mengalami peningkatan nilai konduktivitas termal sebesar 6,7%. Peningkatan konduktivitas termal yang terjadi karena penambahan PEG hingga konsentrasi tertentu menyebabkan peningkatan kestabilan nanofluida. Artinya Al_2O_3 nanopartikel di dalam nanofluida yang stabil terdispersi dengan baik sehingga perpindahan panas di dalam nanofluida berlangsung lebih baik.

Dari Gambar 6 diketahui bahwa konduktivitas termal yang paling besar dimiliki oleh nanofluida dengan penambahan PEG sebesar 0,3%. Data ini sebanding dengan data potensial zeta Gambar 4. Peningkatan konsentrasi PEG menjadi 0,5% sedikit menurunkan persentase peningkatan konduktivitas termal karena dispersi nanopartikel sedikit memburuk sebagaimana diperlihatkan oleh data potensial zeta.

Peningkatan konduktivitas termal nanofluida yang dibuat relatif cukup besar, sebanding dengan peningkatan konduktivitas termal nanofluida pada literatur [6,12-14].

Tabel 1. Data pertambahan CHF.

Jenis Sampel	Pertambahan CHF (%)
Nanofluida air-alumina tanpa PEG	149
Nanofluida air-alumina dengan 0,3 % PEG	232
Nanofluida air-alumina dengan 0,5% PEG	170

Tabel 1 menunjukkan data pertambahan CHF nanofluida dibandingkan dengan CHF air. Terlihat bahwa peningkatan tertinggi terjadi pada nanofluida air-alumina dengan penambahan 0,3% PEG. Pertambahan CHF nanofluida dengan penambahan PEG 0,5% sedikit lebih kecil dari nanofluida dengan penambahan 0,3 % PEG. Pertambahan CHF yang paling besar dimiliki oleh nanofluida dengan 0,3% PEG dibandingkan dengan nanofluida tanpa PEG dan nanofluida dengan 0,5 % PEG. Peningkatan CHF terjadi karena nanopartikel yang ada di dalam nanofluida menempel di permukaan kawat lalu memperbesar tingkat kebasahan dan menyebabkan perpindahan panas dari kawat ke nanofluida berlangsung lebih mudah. Peningkatan konsentrasi PEG di atas 0,3%

mengurangi kembali pertambahan *CHF* karena disperse nanopartikel berkurang sebagaimana diperlihatkan oleh data potensial zeta. Pertambahan *CHF* yang terjadi relatif besar dan sebanding dengan pertambahan *CHF* beberapa literatur [3,11] termasuk pertambahan *CHF* nanofluida tanpa penambahan PEG. Ini memperlihatkan bahwa nanofluida Air- Al_2O_3 yang dibuat pada penelitian ini relatif stabil. Ini juga memperlihatkan bahwa serbuk Al_2O_3 nanopartikel yang dipakai memiliki karakteristik yang baik.

KESIMPULAN

Penambahan alumina nanopartikel kedalam air dapat meningkatkan konduktivitas termal dan *CHF* air. Penambahan Al_2O_3 sebesar 1 gram dapat meningkatkan konduktivitas termal sebesar 6% dan pertambahan *CHF* sebesar 149% di bandingkan dengan konduktivitas termal dan pertambahan *CHF* air. Nilai optimum konsentrasi PEG adalah 0,3%. Penambahan PEG sebesar 0,3% dapat meningkatkan konduktivitas termal sebesar 7,6% dan *CHF* sebesar 232% dibandingkan dengan konduktivitas termal dan pertambahan *CHF* air.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih ditujukan kepada PSTNT-BATAN Bandung yang telah memberikan kesempatan untuk melakukan penelitian kepada penulis, dan Jurusan Fisika UIN Sunan Gunung Djati Bandung yang telah mendukung penelitian ini.

DAFTAR ACUAN

- [1]. R. Saidur, K. Y. Leong, H.A. Mohammad. "A review on applications and challenges of nanofluids". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15, pp. 1646-1668, 2011.
- [2]. H. Kim. "Enhancement of critical heat flux in nucleate boiling of nanofluids: a state-of-art review". *Nanoscale Research Letters*, vol. 6, pp. 415, 2011.
- [3]. W. Yu, D. M. France, E. V. Timofeeva, *et al.* "Comparative review of turbulent heat transfer of nanofluids". *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 55, pp. 5380-5396, 2012.
- [4]. I. Nkurikiyimfura, Y. Wang, Z. Pan. "Heat transfer enhancement by magnetic nanofluids-A review". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 21, pp. 548-561, 2013.
- [5]. R. Senthilkumar, S. Vaidyanathan and B. Sivaraman. "Performance analysis of heat pipe using copper nanofluid with aqueous solution of n-butanol". *International Journal of Mechanical and Materials Engineering*, vol. 1, no. 4, pp. 251-256, 2010.
- [6]. D. G. Syarif, D. H. Prajitno. "Characteristics of water- ZrO_2 nanofluid made from solgel synthesized ZrO_2 nanoparticles utilizing local zircon". *Journal of Materials Science and Engineering B*, vol. 3 no. 2, pp. 122-127, 2013.
- [7]. R. Rao N., L. Gahane, Ranganayakulu S.V. "Synthesis, Applications and Challenges of Nanofluids - Review". *IOSR Journal of Applied Physics (IOSR-JAP)*, pp. 21-28, 2014.
- [8]. M. S. Deodhar, A. R. Shirode, V. J. Kadam. "High Performance Nanoparticle Fluid Suspensions (Nanofluids): A Future of Pharmaceutical Nanotechnology". *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Drug Research*, vol. 6, no. 4, pp. 263-270, 2014.
- [9]. L. Fedele, L. Colla, S. Bobbo, S. Barison, F. Agresti, "Experimental stability analysis of different waterbased nanofluids". *Nanoscale Research Letters*, vol. 6, no. 300, pp. 2-8., 2011.
- [10]. G. Nabiyouni, A. Barati, M. Saadat. "Surface Adsorption of Polyethylene Glycol and Polyvinyl Alcohol with Variable Molecular Weights on Zinc Oxide Nanoparticles". *Iranian Journal of Chemical Engineering*, vol. 8, no. 1, pp. 20-30, 2011.
- [11]. S. C. Hiswankar, J. M. Kshirsagar. "Determination of Critical Heat Flux In Pool Boiling Using ZnO Nanofluids". *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, vol. 2, no. 7, pp. 2091-2095, 2013.
- [12]. D.G. Syarif, D. H. Prajitno. "Synthesis and Characterization of Al_2O_3 Nanoparticles and Water- Al_2O_3 Nanofluids for Nuclear Reactor Coolant". *Advanced Materials Research*, vol. 1123, pp. 270-273, 2015.
- [13]. S. Torii. "Turbulent Heat Transfer Behavior of Nanofluid in a Circular Tube Heated under Constant Heat Flux". *Advances in Mechanical Engineering*, vol. 2010, pp. 1-7, 2010.
- [14]. S. D. Park, S. W. Lee, S. Kang, *et al.* A study on CHF Enhancement Mechanism for Nanofluids Based on Taylor Instability, Transactions of the Korean Nuclear Society Spring Meeting, Jeju, Korea, May 17-18, 2012.